

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-243675

(43)Date of publication of application : 29.08.2003

(51)Int. CI.

H01L 31/04

(21)Application number : 2002-041655 (71)Applicant : KYOCERA CORP

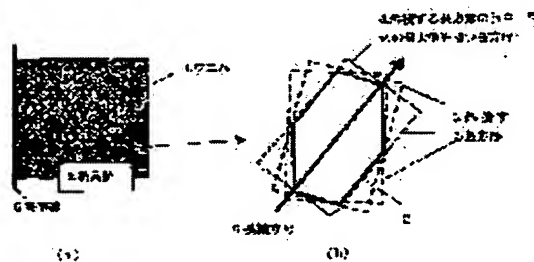
(22)Date of filing : 19.02.2002 (72)Inventor : TSUCHIDA SHINKO  
OZAWA RYUJI

## (54) POLYCRYSTALLINE SILICON WAFER FOR SOLAR CELL AND ITS MANUFACTURING METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polycrystalline silicon wafer for a solar cell which has superior photoelectric conversion efficiency and its manufacturing method.

SOLUTION: The polycrystalline silicon wafer for the solar cell which has many sliced crystal grains is characterized in that crystal grains of  $\geq 3$  in the ratio of the maximum value of the long size and the maximum value of the short side of rectangles circumscribed with the crystal grains are included in one wafer by  $\geq 75\%$  and, preferably, a standard deviation of a distribution of angles between the long-axis direction of the rectangle having the maximum long-side value among the rectangles circumscribed with the crystal grains and the reference line of the wafer is  $\leq 25^\circ$ . Such a polycrystalline silicon wafer for a solar cell can be formed by slicing a polycrystalline ingot for solar cells in parallel to the growing direction of the crystal grains.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.08.2004

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection][Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted]

BEST AVAILABLE COPY

registration]

[Date of final disposal for  
application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-243675

(P2003-243675A)

(43)公開日 平成15年8月29日(2003.8.29)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H01L 31/04

識別記号

FI

H01L 31/04

テーマコード(参考)

X 5F051

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願2002-41655(P2002-41655)

(22)出願日 平成14年2月19日(2002.2.19)

(71)出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地

(72)発明者 土田 真弘

滋賀県八日市市蛇溝町長谷野1166番地の6

京セラ株式会社滋賀八日市工場内

(72)発明者 小澤 竜司

滋賀県八日市市蛇溝町長谷野1166番地の6

京セラ株式会社滋賀八日市工場内

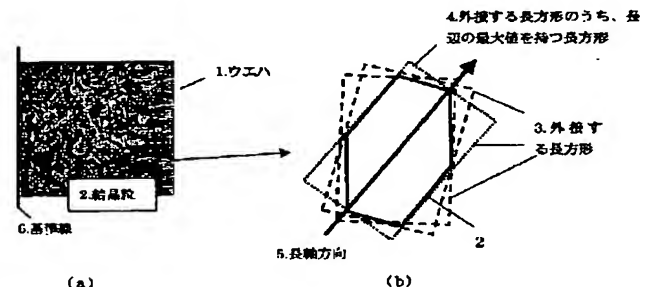
Fターム(参考) 5F051 AA03 CB04 CB29 CB30

(54)【発明の名称】 太陽電池用多結晶シリコンウエハおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 光電変換効率が優れた太陽電池用多結晶シリコンウエハとその製造方法を提供する。

【解決手段】 スライスされた多数の結晶粒を有する太陽電池用多結晶シリコンウエハにおいて、前記結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒が、ウエハ一枚内に75%以上含まれることを特徴とし、望ましくは前記結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下とする。このような太陽電池用多結晶シリコンウエハは、太陽電池用多結晶シリコンインゴットを結晶粒の成長方向に対して水平にスライスして形成することができる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 スライスされた多数の結晶粒を有する太陽電池用多結晶シリコンウエハにおいて、前記結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が 3 以上である結晶粒が、ウエハ一枚内に 75% 以上含まれることを特徴とする太陽電池用多結晶シリコンウエハ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の太陽電池用多結晶シリコンウエハにおいて、前記結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が  $25^\circ$  以下であることを特徴とする太陽電池用多結晶シリコンウエハ。

【請求項 3】 一方向凝固したシリコンインゴットをスライスしてシリコンウエハを形成する太陽電池用多結晶シリコンウエハの形成方法において、前記シリコンインゴットを結晶粒の成長方向に対して水平にスライスすることを特徴とする太陽電池用多結晶シリコンウエハの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光電変換効率が優れた太陽電池用多結晶シリコンウエハ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、半導体デバイスの高集積化、細密化、基板の大口径化の要請は一段と厳しいものになり、それに伴って半導体基板として利用されるシリコン基板の高品質化、すなわち結晶欠陥の低減が求められている。結晶欠陥の中でも結晶粒界は、未結合手や不純物原子の密度が高くて少数キャリアが再結合しやすいため、太陽電池の変換効率を下げる大きな要因となる。

【0003】 そこで、結晶粒径を大きくすることによりウエハ一枚に占める総粒界長さを短くする製造方法として、米国クリスタルシステムズ社の HEM 法（特公昭 58-54115 号）などの製造方法が提案されている。つまり、ルツボの側壁部を半導体材料の融点以上の温度に維持し、ルツボの底部中心部から熱を奪いながら凝固させる HEM 法において、ルツボ底に種結晶を敷く方法が開示されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、単結晶並みの光電変換効率を得るためには、粒径は数 mm 以上あればよいとの報告（多結晶 Si 太陽電池の現状：応用物理第 50 巻第 4 号 1981）もあり、結晶粒を大きくするだけでは高効率太陽電池を実現することはできない。そのため、粒界の性質や粒形状に関する知見が必要とされていた。

【0005】 このうち粒界の性質については、水素原子などをウエハ内に導入してダングリングボンドを不活性化するパッシベーション技術に関する研究が盛んになされているが、粒形状についての研究例は少なく、変換効

率の優れた太陽電池用多結晶シリコンウエハに必要な粒形状については、結晶粒の大部分が一定の方向に配向する長軸を持つように形成するとの記述（実開平 5-55564 号）にとどまっており、明確な粒形状の知見はなかった。そのため、従来、鋳型鋳造した太陽電池用多結晶シリコンインゴットは凝固方向に対して垂直にスライスされており、このようなウエハでは結晶粒の大部分が一定の方向に配向する形状を持つウエハではなく、不規則な形状を持った粒が分布したウエハになっていた。つまり、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が 3 以下か、3 以上のものが 75% 以下のウエハであった。

【0006】 一般的な太陽電池では結晶粒内で発生したキャリアは櫛型電極で収集されるが、キャリアが櫛型電極に到達する途中に粒界が存在すると、その粒界が抵抗となって太陽電池としての特性を下げることになる。そのため、櫛型電極を効果的に配置してキャリアの収集効率を高める必要があるが、前記のような不規則な形状を持った粒が分布したウエハでは結晶粒界も不規則な分布となり、太陽電池の櫛型電極を効果的に配置することができず、太陽電池としての特性を下げる要因になっていた。

【0007】 本発明は、このような問題点を鑑みて発明されたものであり、変換効率の優れた太陽電池用多結晶シリコンウエハに必要な粒形状を明らかにし、光電変換効率が優れた太陽電池用多結晶シリコンウエハ及びその製造方法を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達するため、請求項 1 に係る太陽電池用多結晶シリコンウエハでは、シリコンウエハ中の結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が 3 以上である結晶粒がウエハ一枚内に 75% 以上含まれることを特徴とする。

【0009】 上記太陽電池用多結晶シリコンウエハでは、シリコンウエハ中の結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が 3 以上である結晶粒がウエハ一枚内に 75% 以上含まれ、かつ前記結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が  $25^\circ$  以下であることが望ましい。

【0010】 また、請求項 3 に係る太陽電池用多結晶シリコンウエハの製造方法では、一方向凝固したシリコンインゴットをスライスしてシリコンウエハを形成する太陽電池用多結晶シリコンウエハの形成方法において、前記シリコンインゴットを結晶粒の成長方向に対して水平にスライスすることを特徴とする。

## 【0011】

【発明の実施の形態】 以下、本発明を添付図面に基づき詳細に説明する。図 1 (a) は太陽電池用多結晶シリコンウエハを示す図であり、(b) は外接する長方形を示

す図である。

【0012】シリコンウエハ1は、多数の結晶粒2が存在する多結晶シリコンウエハからなり、鑄造法によって形成されたシリコンインゴットを角柱状に切り出して多数枚にスライスしたウエハで構成される。このシリコンウエハ1には、スライスされて平面視した形状が多角形状の粒界で画定される多数の結晶粒が存在する。この結晶粒2に外接する長方形は無数に描くことができるが、そのうち本発明では、結晶粒2に外接する長方形3の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒が、ウエハ一枚内に75%以上含まれるウエハ、特に85%以上含まれるウエハを使用する。

【0013】結晶粒2に外接する長方形3の長辺の最大値と短辺の最小値の比とは、図1に示すように、ウエハ1中から結晶粒2を抜き取り、その結晶粒1に外接する長方形3を描かせた後、その長方形の長辺の中で最大の値と長方形の短辺の中で最小の値を求め、(長辺の最大値)を(短辺の最小値)で割った値のことをいう。

【0014】太陽電池を作製するに際し、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以下か、3以上のものが75%以下のウエハでは、不規則な形状を持った結晶粒2が分布するために粒界も不規則な分布となる。粒内で発生したキャリアは粒界をまたぐことなく電極に収集されることが理想であるが、このような粒界が不規則分布したウエハでは、通常の櫛型電極を設けても効率的にキャリアを収集することができない。従って、このようなウエハで高効率な太陽電池を作製するためには、複雑な電極構造が必要となってしまう。

【0015】しかしながら、結晶粒2に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上の結晶粒2を75%以上含むウエハを用いる場合、結晶粒2に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以下か、3以上のものが75%以下のウエハと比較して細長い形状の粒が多く分布することになる。これにより、規則的な結晶粒界が分布することになるため、通常の櫛型電極でもキャリアの収集効率を高めることが可能となり、複雑な電極構造は必要でなくなる。

【0016】尚、結晶粒2に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒が75%のウエハでは、結晶粒界が櫛型電極に対して十二分に垂直な分布をしているとは言えないため、品質の安定性を考慮すると85%以上含まれていることがより好ましい。

【0017】櫛型電極を設けるうえで、結晶粒2の配向性が揃っているほど効果的なキャリアの収集が可能となるため、結晶粒2に外接する長方形4の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒2をウエハ内に75%以上含み、かつ結晶粒2に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下のウエハを用い

ることで太陽電池の光電変換効率を更に向上させることが可能となる。つまり、結晶粒2に外接する長方形3のうち長辺の最大値を持つ長方形4を抜き取り、その長軸方向5とウエハの基準線6との間の角度の分布の標準偏差が25°以下であるウエハを使用することで、更なる光電変換効率の向上が期待できる。

【0018】結晶粒2に外接する長方形4の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上の結晶粒2を75%以上含むウエハは、凝固させた太陽電池用シリコンインゴットを所定寸法にカットした後、この半導体塊を、砥粒が混在するスラリーを供給すると共にワイヤーを高速回転させて切削するマルチワイヤーソー装置(不図示)でスライスする。このとき、結晶粒の成長方向に対して水平にワイヤーが入るように半導体塊をカーボンなどから成る基材(不図示)に貼着してスライスすることで、容易に製造することができる。

【0019】結晶粒2の成長方向に対して水平にスライスするだけでは、結晶粒2に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒をウエハ内に75%以上含み、かつ結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下のウエハを製造することは困難であるが、鑄型側面を断熱しながら底部から十分な抜熱をした一方向凝固性の優れた太陽電池用シリコンインゴットからマルチワイヤーソー装置で結晶粒の成長方向に水平にスライスすることで製造できる。

【0020】このような一方向凝固性の優れた太陽電池用シリコンインゴットは、図2に示すような鑄造装置で次のように製造することができる。図2において7はグラファイトなどからなる断熱材、8は加熱体、9はグラファイトなどからなる鑄型、10は冷却板、11は熔融シリコンである。石英のつぼ(不図示)内で溶解した熔融シリコンを内壁面に窒化珪素、炭化珪素などを主成分とする離型材を塗布した鑄型9の中に注ぎ込み、その後、その熔融シリコン11を液面が固まらない程度の加熱を加熱体8により加えながら、鑄型9の下部に冷却板10を接触させて下部から上部へと凝固させシリコンインゴットを製造する。

【0021】このとき、鑄型9の側面を断熱しながら、鑄型底部の離型材(不図示)の断熱性を悪くする方法、鑄型底部の厚み薄くして断熱性を悪くする方法、および冷却板10の抜熱量を増す方法などを用いて、底部から通常より抜熱量を増すことで一方向に凝固した太陽電池用シリコンインゴットが製造できる。

【0022】

【実施例】次に、本発明の実施例を説明する。図3に示すように、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒がウエハ一枚内に65%含まれるもの(同図(a))、75%含まれるも

の(同図(b))、85%含まれるもの(同図(c))を用意し、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比ごとのウエハ一枚に占める割合を調べた。その結果、ウエハ一枚内の分布は、図4のようになっている。ここで、比較に用いた多結晶シリコンウエハのうち(a)、(b)は結晶粒の成長方向に対して垂直\*

\*にスライスしたウエハ、(c)は結晶粒の成長方向に対して水平にスライスして作製したウエハである。これらのウエハを素子化したときの光電変換効率を表1に示す。

【0023】

【表1】

ウエハ1枚の中に、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上の結晶粒を含む割合	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	F.F.	$\eta$ (%)
65%	32.80	0.596	0.748	14.62
75%	34.28	0.601	0.745	15.35
85%	34.66	0.604	0.743	15.56

【0024】表1から外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上の結晶粒を75%以上含むウエハの光電変換効率は15%以上となって極めて優れていることが分かり、特に85%以上含まれているウエハの光電変換効率が優れていることが分かる。

【0025】図5は、結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が30°のウエハ(同図(a))と25°のウエハ(同図(b))の比較である。図5(a)(図3(c)と同じウエハ)、(b)は共に結晶粒の成長方向に対して水平にスライスして作製※

したウエハであり、結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒がウエハ一枚内に85%以上含まれる多結晶シリコンウエハである。また、(b)のウエハは(a)に対して離型材の断熱性を変えることで底部の抜熱量を1.5倍にして一方凝固性を良くしたインゴットからスライスしたウエハである。このウエハを素子化したときの光電変換効率の比較を表2に示す。

【0026】

【表2】

結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との間の角度の分布において、その分布の標準偏差	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	F.F.	$\eta$ (%)
30°	34.66	0.604	0.743	15.56
25°	35.10	0.604	0.744	15.77

【0027】表1、表2から結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒がウエハ一枚内に75%以上含まれ、かつ前記結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下である図5(b)の光電変換効率が最も優れていることが分かる。

【0028】

【発明の効果】以上のように、本発明の太陽電池用多結晶シリコンウエハ中の結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒がウエハ一枚内に75%以上含まれることで、細長い形状の粒が多く分布することになる。これにより、規則的な結晶粒界が分布することになるため、通常の櫛型電極でもキャリアの収集効率を高めることが可能となって光電変換効率が向上し、複雑な電極構造も必要でなくなる。

【0029】また、櫛型電極を設けるうえで、結晶粒の配向性が揃っているほど効果的なキャリアの収集が可能となるため、結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大

値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下のウエハを用いることで太陽電池の光電変換効率を更に向上させることが可能となる。

【0030】また、太陽電池用多結晶シリコンインゴットを結晶粒の成長方向に対して水平にスライスすることで、シリコンウエハ中の結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上である結晶粒がウエハ一枚内に75%以上含まれるウエハを容易に製造することが可能となる。更に、底部から通常より抜熱量を増すことで一方向に凝固した太陽電池用シリコンインゴットを結晶粒の成長方向に対して水平にスライスすることで、結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が25°以下のウエハを製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る太陽電池用多結晶シリコンウエハにおける結晶粒に外接する長方形を説明するための図で

ある。

【図2】本発明に係る太陽電池用多結晶シリコンウエハの製造に用いられる鑄造装置の凝固部を示す図である。

【図3】太陽電池用多結晶シリコンウエハを示す図であり、(a)は結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比が3以上の結晶粒を65%含む図、(b)は75%含む図、(c)は85%含む図である。

【図4】図3のウエハにおける結晶粒に外接する長方形の長辺の最大値と短辺の最小値の比の分布を示す図である。

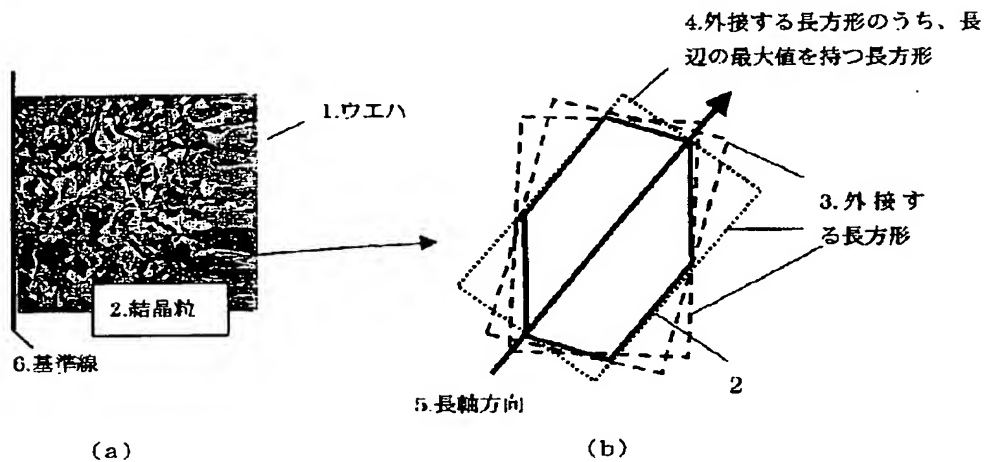
【図5】太陽電池用多結晶シリコンウエハを示す図であ

り、(a)は結晶粒に外接する長方形のうち長辺の最大値を持つ長方形の長軸方向とウエハの基準線との角度の分布の標準偏差が $30^{\circ}$ のウエハを示す図、(b)は $25^{\circ}$ のウエハを示す図である。

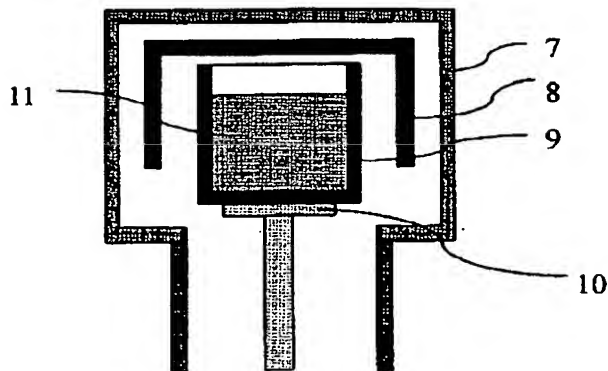
#### 【符号の説明】

1：ウエハ、2：結晶粒、3：結晶粒に外接する長方形、4：外接する長方形のうち、長辺の最大値を持つ長方形、5：長軸方向、6：基準線、7：グラファイトなどからなる断熱材、8：加熱体、9：グラファイトなどからなる鑄型、10：冷却板、11：熔融シリコン

【図1】



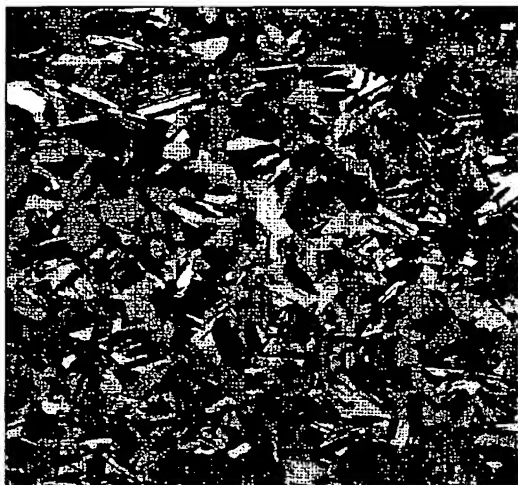
【図2】



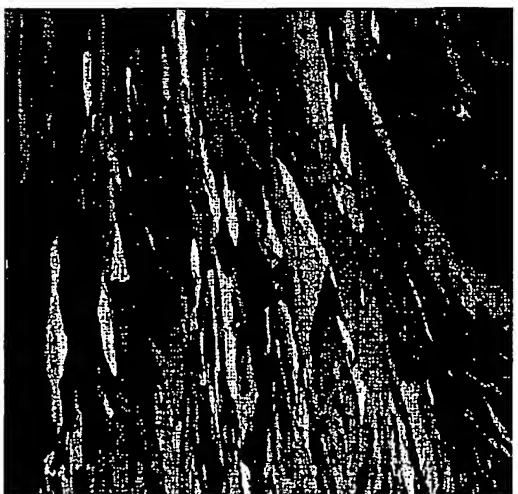
【図 3】



(a)



(b)

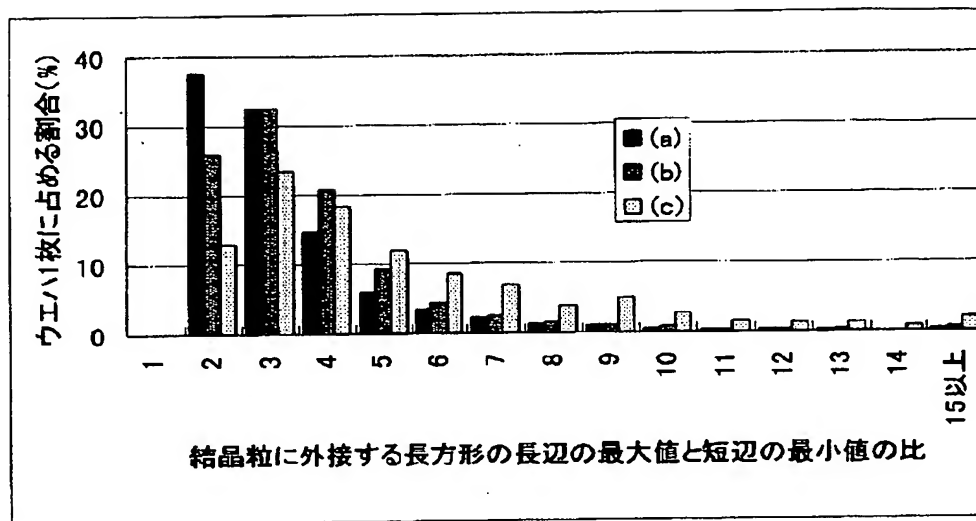


(c)

BEST AVAILABLE COPY



【図4】



【図5】

